

Géomorphologie, sédiments et sols de la Baie de Sherbro, (Sierra Leone méridionale)

Edward J. ANTHONY (1), Claude MARIUS (2)

(1) Université Louis Pasteur, Centre de Géographie Appliquée, 3, rue de l'Argonne, 67084 Strasbourg.
(2) Pédologue ORSTOM, Université Louis Pasteur, Institut de Géologie, 1, rue Blessig, 67084 Strasbourg.

RÉSUMÉ

La Baie de Sherbro en Sierra Leone méridionale est constituée de dépôts d'origine locale, marine et fluviale qui ont accumulé sur une marge continentale large, basse et tectoniquement subsidente. L'évolution géomorphologique et sédimentologique de cette baie a été fortement influencée par une zone de failles de transformation encore active, la « Sierra Leone Fracture zone » qui traversent la marge continentale au niveau de l'île Sherbro.

La Baie peut être divisée en deux zones morpho-sédimentologiques : le chenal principal et les tidal flats qui le bordent. Le premier contient deux milieux de sédimentation bien distincts : une plateforme massive de sables provenant de la mer et localisée à l'entrée de la Baie et une zone de sédimentation interne constituée de bancs, de barres et d'îlots à paléuviers discrets séparés par des chenaux du flot et du jusant profonds. Les tidal flats sont le résultat d'une aggradation globale et diffuse soit sur un substrat anté-holocène, soit au sein de la plaine de cordons littoraux qui abritent la Baie.

Les sols de la Baie de Sherbro sont, en majeure partie, potentiellement sulfaté-acides. Cette acidité potentielle dépend de la nature du couvert végétal, de la composition sédimentologique des dépôts et de leur stabilité géomorphologique. Les sols potentiellement sulfaté-acides sont typiques des dépôts vaseux stables et colonisés par Rhizophora.

ABSTRACT

GEOMORPHOLOGY, SEDIMENTS AND SOILS IN THE SHERBRO BAY (SOUTHERN SIERRA LEONE)

Sherbro Bay, in southern Sierra Leone, is made up of locally, marine and fluvially derived sediments that have accumulated on a wide, low, tectonically subsident plain during the Holocene. The geomorphic and sedimentological evolution of these deposits has been strongly influenced by the « Sierra Leone Fracture zone », a still active transform fault fracture zone that intersects the continental shelf of southern Sierra Leone just south of Sherbro Island.

The bay can be divided into two geomorphic and sedimentary zones : the main bay channel and the mangrove colonized tidal flats flanking this channel. The channel exhibits two distinct sedimentological units : a massive platform of « marine » sand situated at the main bay entrance and an inner bay unit made up of discrete bars and alluvial islands separated by deep ebb-flood channels. The tidal flats evolved either as aggradational deposits overlying a shallow, drowned pre-Holocene sandy-clay basement or as beach swale deposits that have grown in area as a result of beach ridge erosion through swale channel migration.

Sherbro Bay soils are predominantly potentially acid sulphate. The development of a potentially acid condition depends on vegetation type, the sediment texture and geomorphic stability of the bay deposits. Potentially acid sulphate soils are typical of geomorphologically stable, predominantly silty-clayey accumulation forms colonized by Rhizophora mangroves.

1. INTRODUCTION

La Baie de Sherbro est un complexe estuarien qui reçoit les débits liquides et solides de plusieurs rivières dont les plus importantes sont le Kittam, le Jong et le Bagru (Fig. 1). Le Kittam constitue le cours inférieur des rivières Sewa et Waanje

dont la superficie des bassins versants s'élève à 13977 km² et 3072 km² respectivement. Le Jong draine une superficie de 7424 km² et le Bagru 2944 km². Toutes les autres rivières drainent des bassins versants dont la superficie est inférieure à 2000 km².

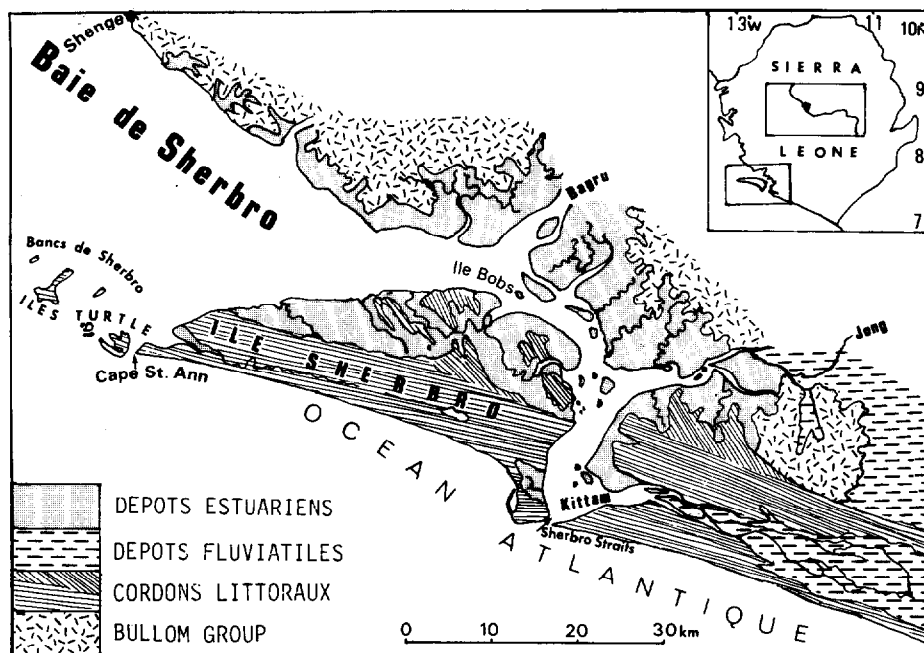


Fig. 1. — La Baie de Sherbro en Sierra Leone méridionale

L'ensemble de ces bassins versants reçoit une pluviométrie annuelle de 2500 à 4000 mm concentrée quasi-exclusivement en une seule saison pluvieuse qui dure de mars à novembre. La température moyenne annuelle varie d'un minimum de 24° C en août à un maximum de 28° C en mars. L'évolution annuelle des régimes thermique et pluviométrique aboutit à un déficit hydrique pour les mois de décembre à avril. A Bonthe, en zone estuarienne, ce déficit saisonnier atteint une moyenne de 328 mm (ODELL *et al.*, 1974).

L'évolution annuelle des débits liquides des rivières qui se jettent dans la baie fait ressortir un régime 'tropical de transition' (LEDGER, 1964) étroitement axé sur celui du climat et caractérisé par une seule crue à partir de mai, un niveau maximum en septembre et ensuite une diminution progressive jusqu'à l'étiage qui dure généralement de février à avril. Les débits de la rivière Jong, jaugeée à 160 km en amont de la zone estuarienne et sur 32,4 % de son bassin versant s'élèvent à :

débit minimum	:	0,5 m ³ /sec.
débit moyen	:	106,8 m ³ /sec.
débit maximum	:	511,0 m ³ /sec.
débit cumulé annuel	:	3 milliards de m ³ .

La Baie de Sherbro se caractérise par une onde de marée semi-diurne. Le marnage moyen de vive eau à l'entrée principale de la baie entre Shenge et Cape St. Ann est de 2,02 m. L'amplitude de la marée reste à peu près constante entre cette entrée et l'île York (Fig. 5), diminuant ensuite vers l'embouchure du Kittam au niveau des Sherbro Straits où le marnage moyen de vive eau n'est que de 1,24 m.

En saison des pluies, l'entrée principale de la baie est soumise à des houles fortes et longues qui peuvent modifier de façon importante la morphologie des dépôts supratidaux qui s'y trouvent. A l'intérieur de la baie, des houles courtes et locales affectent essentiellement les berges du chenal principal et les processus d'érosion, de transport et de sédimentation sont assurés par les courants tidaux et fluviaux et par la circulation de densité résultant de l'interaction entre les eaux marines et fluviales.

2. CADRE GÉOMORPHOLOGIQUE ET TECTONIQUE

Le complexe estuarien de Sherbro représente une anse ennoyée lors du maximum de la transgression marine de

l'Holocène et partiellement fermée de la mer par une série de cordons littoraux derrière lesquels ont accumulés des sédiments sableux et vaseux depuis la mi-Holocène. Le développement de ce complexe a été fortement influencé par son cadre tectonique qui est dominé par une zone de failles de transformation, la « Sierra Leone fracture zone », originaire de la ride tectonique médio-Atlantique, et transversale à la côte. Cette zone de failles encore active a servi comme le point de convergence des embouchures des rivières et elle délimite vers le nord-ouest une marge continentale large et basse, de type atlantique, propice au développement d'une plaine côtière subsidente et caractérisée par des estuaires amples, tapissés d'importantes étendues de dépôts fluvio-marins et de sédiments sablo-argileux anté-holocènes (le Bullom Group) qui forment des bas plateaux le long du flanc nord de la Baie de Sherbro (Fig. 1). La morphologie de cette zone d'accumulation et de subsidence est différente de celle au sud de la « Sierra Leone fracture zone » qui est une marge côtière étroite avec peu de dépôts anté-holocènes et peu d'estuaires.

La forme actuelle de la baie a été fonction non seulement de son évolution sédimentologique mais aussi de la formation et l'évolution des cordons littoraux qui l'abritent. Son évolution sédimentologique a été contrôlée par sa paléotopographie et par la nature des interactions entre les décharges liquides et solides des ondes de marée et des rivières débouchantes. Par la formation de cordons littoraux successifs, d'abord en crochet (cordons anciens) et puis parallèlement à l'estran actuel (cordons récents) (Fig. 1), le complexe estuarien de Sherbro s'est progressivement prolongé vers l'ouest. La grande largeur de l'entrée principale (38 km) est due au fait que les cordons récents n'ont pas, comme les cordons anciens, suivis l'orientation structurale (nord-nord-ouest — sud-sud-est) imprimée par le soubassement métamorphique sur la côte de la Sierra Leone méridionale. Cette génération de cordons récents reste parallèle à l'estran actuel sur toute la longueur de l'île Sherbro et elle s'écarte de la côte pour suivre un alignement ouest-nord-ouest — est-sud-est. Cette orientation est parallèle à celle du plateau continental (Fig. 2) qui s'élargit brusquement au nord-ouest de la « Sierra Leone fracture zone ». Cet élargissement a été provoqué par la rotation sénestre de cette zone de failles et ses effets se répercutent sur l'évolution du marnage le long de la côte. La largeur du plateau continental passe de 50 km au large de l'île Sherbro à 120 km à l'entrée de la baie. Ceci engendre une amplification du marnage moyen qui passe de 0,74 m aux Sherbro Straits à 1,80 m au niveau de Shengé.

Les étapes de l'évolution géomorphologique de la côte en Sierra Leone méridionale au cours du Pleistocène supérieur et de l'Holocène ont été étudiées par ANTHONY (1983) qui a montré notamment que le bras est de la baie de Sherbro (au sud du débouché du Jong) et l'embouchure du Kittam étaient plus récents que le bras nord et l'entrée principale. Ces derniers remontent à la période de formation des cordons les plus anciens (— 5000 ans B.P.) alors que le bras est et l'embouchure du Kittam ont été formés à la suite d'une phase d'oscillation du niveau marin (probablement vers — 3000 ans B.P.) durant laquelle une brèche s'est formée à

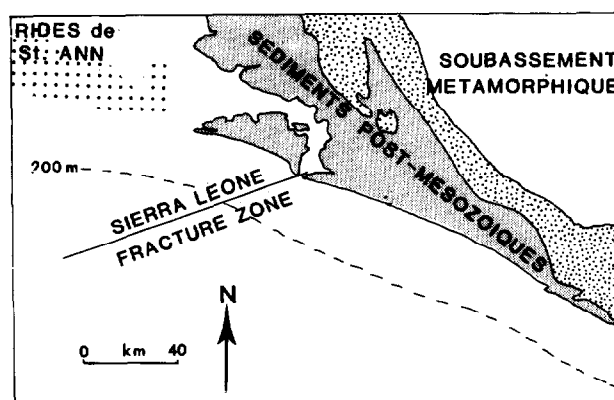


Fig. 2. — Cadre lithologique et tectonique de la Baie de Sherbro

travers les cordons anciens le long de la Sierra Leone fracture zone isolant ainsi l'île Sherbro du continent (Fig. 3).

Par ailleurs, d'autres oscillations du niveau marin depuis la mi-Holocène ont provoqué la dissection partielle des cordons littoraux, facilitant ainsi la migration des chenaux de marée et la sédimentation estuarienne tant sur l'île Sherbro que sur le continent.

3. LES FORMES D'ACCUMULATION

Le degré de comblement démontré par la Baie de Sherbro indique qu'il s'agit d'une baie en déséquilibre. Ce déséquilibre est caractéristique des baies et des estuaires dont l'aggradation du lit de leur chenaux en millimètres par an a été inférieure au taux de montée du niveau marin (SWIFT, 1976). De tels estuaires et baies ont une forme en entonnoir qui est la conséquence d'un rapport débit tidal/débit fluvial élevé. Un des traits morpho-sédimentologiques souvent associés à ces baies est un système de tidal flats avec un réseau dense de chenaux de marée. La Baie de Sherbro peut être divisée donc en deux milieux géomorphologiques et sédimentologiques majeurs : a) le chenal principal et b) les tidal flats qui bordent ce chenal (Fig. 4).

3.1. Le chenal principal

Le chenal principal contient deux zones de sédimentation importantes : une zone de sédimentation sableuse qui forme les bancs de Sherbro (Fig. 4) à l'entrée principale de la Baie et une zone de sédimentation sablo-vaseuse qui s'échelonne de l'embouchure du Kittam jusqu'à la rivière Bagru (Fig. 5) constituée de bancs et de barres sableux et sablo-vaseux et d'îlots sablo-vaseux colonisés par des palétuviers. En dehors de ces deux zones, le chenal est relativement profond (Fig. 5) ; il atteint 20 m par endroits et son lit est constitué de sables de quartz fins à grossiers et de graviers fins ferrugineux et quartzueux. Ces dépôts sont généralement propres et contiennent peu de silts et d'argiles.

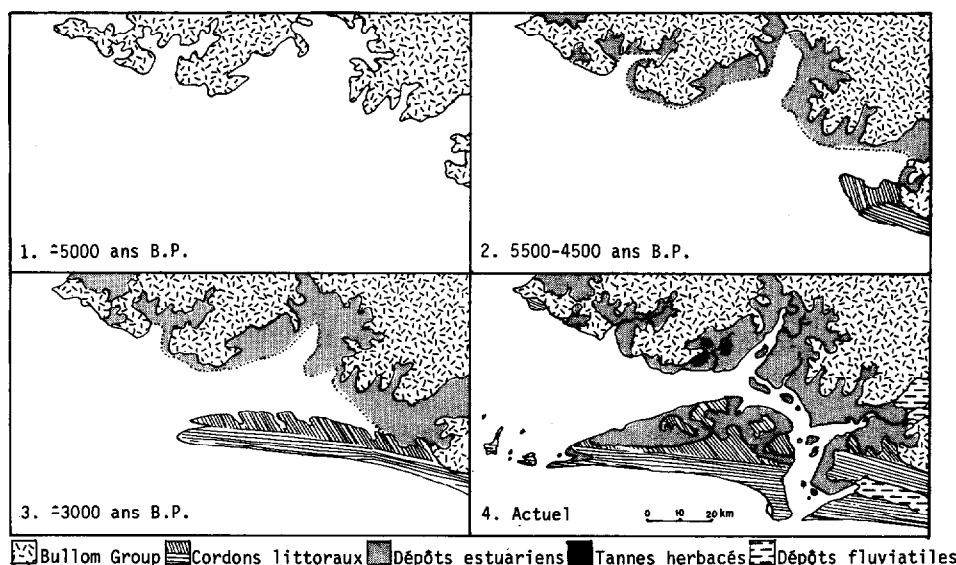


Fig. 3. — Etapes principales de l'évolution géomorphologique de la Baie de Sherbro depuis la mi-Holocène

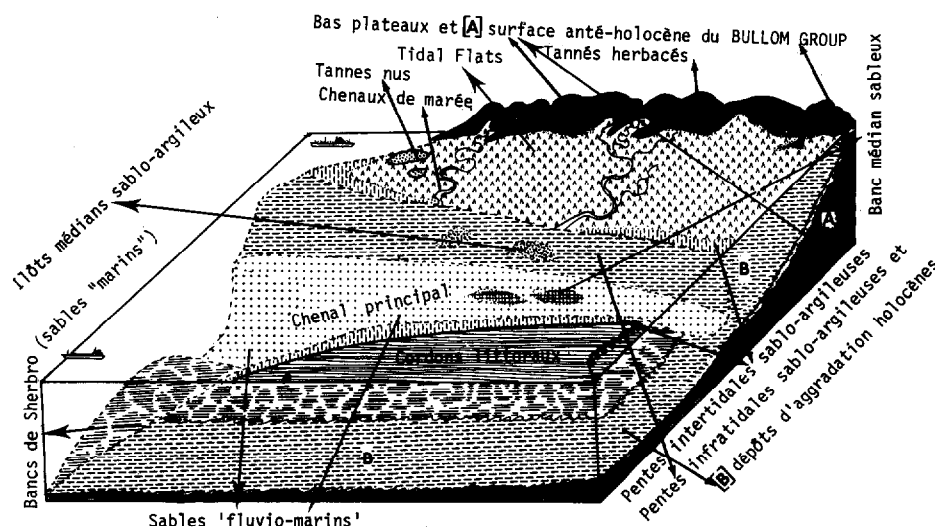


Fig. 4. — Schéma des unités géomorphologiques de la Baie de Sherbro

Les bancs de Sherbro : Ces dépôts forment une plateforme massive de bancs de sables sillonnée par des chenaux du flot et du jusant. Il s'agit d'un delta du flot subtidal à supratidal. Les bancs sont constitués de sables de quartz généralement propres (photo 1), fins à moyens et modérément à très bien triés. L'étude de leur état de surface au microscope électronique à balayage indique une origine marine. Ces sables proviennent des hauts-fonds de St. Ann, une série de rides submergées qui s'allongent du voisinage du Cape St. Ann vers le nord-ouest du plateau continental (Fig. 2) et dont les carac-

tères granulométriques des sables ont été décrits par MC MASTER *et al.* (1971).

La pénétration de ce delta sableux vers l'intérieur de la Baie de Sherbro reflète la tendance bien démontrée par MEADE (1969), pour certains estuaires et baies microtidiaux (marnage moyen < 2 m) profonds à se remplir de sédiments provenant du proche plateau continental. A cause de la grande largeur de l'entrée de la baie, la force de Coriolis tend à donner une circulation où les masses d'eau du jusant et du flot suivent des chemins opposés, se concentrant le long des flancs

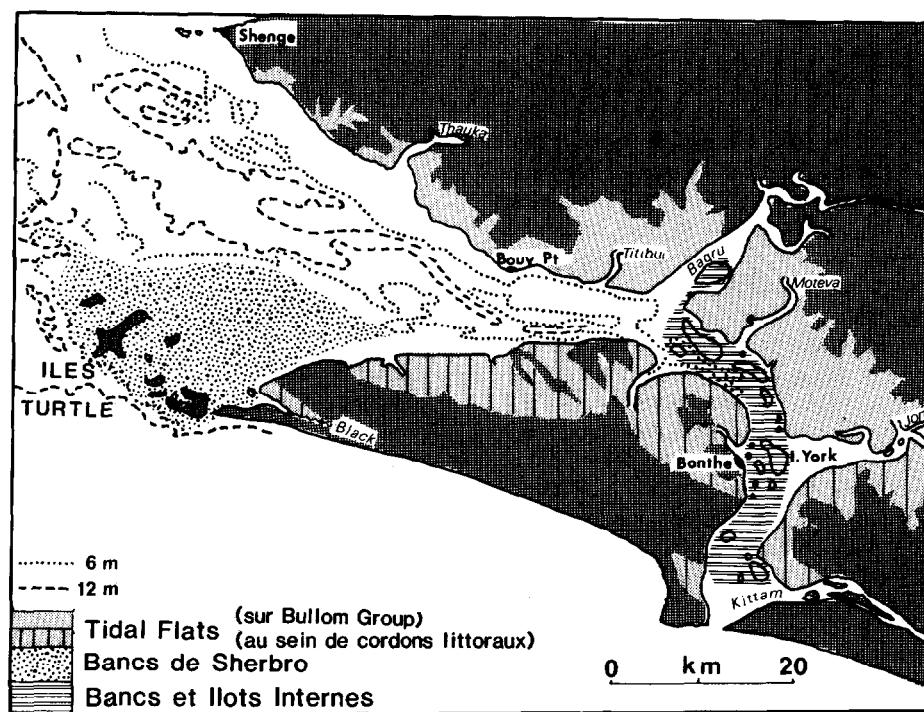


Fig. 5. — Les unités sédimentologiques et la bathymétrie de la Baie de Sherbro

droit et gauche respectivement (en regardant vers la mer), et ceci explique la restriction du delta le long du flanc gauche de la baie (Fig. 5), à proximité de l'île Sherbro. La nature profonde de l'entrée de la baie ainsi que cette influence séparatrice de la force de Coriolis sont favorables à un courant résiduel dirigé vers l'intérieur de la baie avec, par conséquent, une nette migration des bancs dans cette direction. Certains de ces bancs accroissent jusqu'au niveau des pleines mers devenant ainsi des zones où convergent des houles qui les engraisent en îlots supratidaux (OERTEL, 1972). De tels îlots parsèment ce delta et constituent le groupe des îles Turtle (Fig. 5). Elles sont très instables et changent constamment de forme, parfois disparaissant entièrement par érosion en période de fortes houles.

Les bancs et îlots internes : à la différence des bancs de Sherbro qui forment une plateforme sableuse massive, les bancs et îlots internes sont des dépôts individuels et discrets, séparés par des chenaux relativement profonds, maintenus par des courants de marée bi-directionnels et symétriques.

La partie du chenal principal occupée par ces formes d'accumulation correspond à la zone de convergence entre les débits fluviaux et les deux ondes de marée qui remontent la baie.

Cette convergence provoque la diffusion des eaux marines et fluviales favorisant ainsi la sédimentation. La synthèse de WRIGHT (1977) sur la morphologie et la sédimentation au

niveau des embouchures des rivières a montré que ces phénomènes sont fonction du résultat de l'interaction entre le jet représentant la décharge liquide fluviale et la mer. Lorsque le rapport entre le débit fluvial et tidal est bas, les processus de friction et de diffusion dominant, provoquant la sédimentation de bancs successifs (middle ground bars) qui subdivisent le chenal en plusieurs bras secondaires. Ces bancs de forme triangulaire sont surtout typique du débouché du Jong en face de Bonthe (Fig. 5). Ailleurs dans la baie où les rivières débouchantes sont moins importantes, ces bancs prennent une forme allongée dans le sens de la direction des courants qui suivent des chenaux mutuellement évectifs. Ils ressemblent ainsi aux barres de courants de marée (tidal current ridges) de OFF (1963). COLEMAN et WRIGHT (1978) attribuent ces formes à la convergence latérale des sédiments transportés par les courants du flot et du jusant.

Les mécanismes qui régissent le piégeage et la sédimentation des sédiments en suspension sont liés à deux circulations différentes. Il s'agit, d'une part, de la circulation estuarienne classiquement reconnue et décrite par plusieurs auteurs (voir, par exemple DYER, 1973 et OFFICER, 1976) d'après les études de PRITCHARD (1955). Cette « circulation de densité » se caractérise par un piégeage des sédiments en suspension dans la zone de convergence et de mélange entre eaux marines et fluviales. D'autre part, ALLEN *et al.* (1980) ont souligné l'importance des processus purement tidaux (déforma-

tion de l'onde de marée à l'amont du chenal, et variations dans l'amplitude de marée lors du cycle tidal bi-hebdomadaire (vive eau-morte eau) qui peuvent engendrer le même type de piégeage que celui dû à la circulation de densité. Ces deux mécanismes agissent souvent ensemble dans le même chenal.

Ces bancs peuvent être colonisés par des espèces de la mangrove soit à l'état purement sableux soit à l'état sablo-vaseux pour donner des îlots médians. Le type d'espèce végétale qui colonise le banc dépend principalement du niveau de l'élévation de substrat ainsi que de sa texture granulométrique. Les espèces les plus importantes sont *Rhizophora racemosa*, *Rhizophora mangle* et *Avicennia africana* mais l'on trouve également *Rhizophora harisonnii* et *Laguncularia racemosa*. Les palétuviers contribuent, avec la sédimentation classique, à la croissance des bancs en piégeant les argiles et les limons mais peut-être leur rôle géomorphologique le plus important se situe au niveau de la stabilisation des bancs. En effet, les dépôts les plus stables dans cette zone de sédimentation interne sont les bancs sablo-vaseux colonisés par la mangrove. Ces plantes fournissent également de la matière organique en abondance et ceci détient une importance fondamentale dans le développement des sols estuariens.

L'accumulation des bancs, barres et îlots étant due à la convergence des eaux marines et fluviales, ces dépôts sont constitués de sédiments hétérogènes — sables de quartz fins à grossiers, silts et argiles — et le tri est également très variable — mauvais à très bien. La composition granulométrique de chaque dépôt individuel dépend essentiellement de la vitesse des courants à travers sa surface. Cette vitesse est influencée, entre autres, par le niveau d'élévation ou d'aggradation du banc et de la présence ou absence d'une couverture de mangroves. Ces sédiments proviennent de trois sources : du continent, des abords immédiats de la baie et de la mer. Les sédiments d'origine continentale sont apportés en suspension par les rivières, notamment celles qui traversent surtout les formations sablo-argileuses peu consolidées du Bullom Group. Les sédiments d'origine locale sont constitués de sables, de limons et d'argiles. Les sables proviennent surtout de l'érosion des cordons littoraux de l'île Sherbro tandis que les fractions fines sont fournies par l'érosion des dépôts du Bullom Group, mais proviennent surtout du substrat qui se trouve sous les cordons littoraux et dont la fraction limono-argileuse est libérée par les chenaux entaillés dans les dépressions entre les cordons. Les abords de l'embouchure du Kittam contiennent des sables provenant de la mer.

L'analyse minéralogique des sédiments argileux de la Baie de Sherbro (y compris ceux des tidal flats examinés plus loin) montre une dominance de la kaolinite (80 %) et une présence quasi générale de la gibbsite. L'illite, la chlorite et la smectite se trouvent aussi dans pratiquement tous les échantillons.

En dehors de la smectite, tous ces minéraux sont d'origine continentale et locale. La smectite par contre, est d'origine marine et elle est introduite dans la baie par les ondes tidales. Ce minéral peut représenter une proportion significative de la charge en suspension sur le plateau continental sierra Leonais (CARDER *et al.*, 1974 ; MCMASTER *et al.* 1977 ; MCGRAIL, 1982). Il est surtout concentré entre 0 et 60 m (MCMASTER *et al.*, 1977) et ceci indique qu'il est apporté de la région sénégal-mauritanienne par le courant de Guinée qui est un courant de surface longeant la côte de l'Afrique occidentale du nord au sud et sous lequel se trouve un contre-courant dirigé en sens inverse (MCGRAIL, 1979, 1982). Il est intéressant de noter que dans les estuaires de la Gambie et au Sénégal, les smectites sont très importantes dans la constitution du stock sédimentaire argileux (KALCK, 1978 ; MARIUS et LUCAS, 1982).

3.2 Les tidal flats

Cette unité est la plus importante en superficie et elle représente de vastes étendues plates, colonisées presque entièrement par la mangrove et découpées par un lacs de chenaux de marée à méandres prononcés (ph. 2, 3). A la différence des bancs et îlots internes qui sont des dépôts discrets formés à partir de sédiments immobilisés au niveau du débouché des rivières, les tidal flats sont le résultat actuel d'une aggradation globale et diffuse.

Génétiquement, l'on distingue deux types de tidal flats : ceux de la partie nord de la Baie de Sherbro entre la rivière Jong et Shenge et ceux qui ont évolué au sein des cordons littoraux de l'île Sherbro et du continent.

Les premiers ont accumulé sur des épandages bas anté-holocènes (le Bullom Group) ennoyés par la mer lors de la transgression holocène. L'épaisseur de ces post-holocènes, sablo-argileux et tourbeux varie entre 0 et 20 m et dépend de la paléotopographie du Bullom Group sous-jacent. Par endroits, des lambeaux du Bullom Group affleurent au sein de ces flats. La zone de contact latérale entre les flats et les bas plateaux du Bullom Group présente un modelé en doigts-de-gant. Ce modelé représente un ancien réseau hydrographique qui n'est plus que partiellement fonctionnel et qui a été élaboré lors d'une période plus humide que l'actuelle. D'après les analyses sédimentologiques et chronologiques effectuées par THOMAS et THORP (1980) en Sierra Leone centrale, cette période se situe vers 12000 à 10000 ans B.P.

Ces flats contiennent deux unités mineures :

les tannes nus et les tannes herbacés (1) (Fig. 4). Les tannes nus forment des pochettes sableuses isolées au nord de Bouy Point et en bordure de mer. Ces zones sont inondées

(1) « Tanne » est un mot vernaculaire ouolof (Sénégal) qui désigne des étendues dépourvues de végétation ou couvertes d'un tapis herbacé, situées en arrière mangrove.



PHOTO 1. — Surface propre d'un banc sableux



PHOTO 2. — Vue aérienne des tidal flats et chenaux de marée à méandres prononcés



PHOTO 3. — Vue aérienne des tidal flats et des lambeaux (A) du Bullom Group

uniquement lors des pleines mers de vive eau et sont dépourvues de toute végétation. Les tannes nus sont constitués de sables fins de quartz peu à modérément bien triés et de limons et argiles en très faible proportion (< 5 %). Les tannes herbacés se trouvent parfois isolés au sein des tidal flats mais constituent souvent la zone de transition entre les plateaux du Bullom Group et les flats. Ces tannes ont une couverture végétale constituée principalement de *Eleocharis dulcis*, parfois en peuplement pur, et de *Eichornia natans* et *Nymphaeodes indica* (COLE, 1968). Ces zones sont très rarement inondées par la marée mais ont une nappe phréatique proche de la surface en saison sèche et débordant en saison des pluies. Les sédiments sont très hétérogènes et peu triés.

Les tidal flats de l'île Sherbro et du continent au sud de la rivière Jong se sont formés au fur et à mesure de l'érosion des cordons littoraux qui les abritent. Ces flats ont débuté comme des couloirs étroits entre les cordons littoraux et se sont étendus et élargis au fur et à mesure de la migration des chenaux de marée entre les cordons, une migration provoquée par les oscillations post-mi-holocènes du niveau marin. Les sédiments qui constituent ces flats sont quasi-exclusivement d'origine locale, provenant du substrat sablo-vaseux peu profond (5 — 10 m) des cordons littoraux. Ces tidal flats se sont donc étendus au dépens des cordons littoraux qu'ils remplacent dans le modelé depuis la mi-Holocène.

Les deux types de tidal flats sont parcourus par des chenaux de marée dont les méandres, souvent très prononcés (photo 3) se sont formés au fur et à mesure de l'aggradation et de la progradation des flats. Le développement de ces méandres correspond à une prolongation de la zone parcourue par l'onde de marée, et peut être une tendance vers l'établissement d'un équilibre entre la longueur de cette zone tidale et la longueur de l'onde de marée (WRIGHT *et al.*, 1973).

Les tidal flats sont le site de sédimentation des particules les plus fines, argiles et limons. La composition sédimentologique de ces dépôts comprend également de la matière organique et des argiles tourbeuses. La sédimentation des fractions fines est favorisée par l'enchevêtrement des racines des palétuviers qui freinent la circulation des courants de marée ce qui donne non seulement des dépôts de décantation bien triés mais aussi des dépôts en vrac peu triés. L'aggradation des tidal est favorisée par des courants très faibles à marée haute et les mécanismes de base qui régissent cette sédimentation ont été examinés par POSTMA (1967). L'apport des sédiments en suspension relève d'un transport résiduel dirigé vers l'intérieur des flats. Les particules en suspension continuent de migrer vers l'intérieur des flats après que l'écoulement tidal ait décéléré au-delà du seuil de vitesse capable de transporter. D'autre part, les courants de marée décroissent graduellement vers l'intérieur le long des axes de drainage (chenaux de marée) et rapidement à travers les flats. Ces mécanismes favorisent une nette sédimentation des vases sur les tidal flats qui aggradent ainsi.

La bordure externe des tidal flats est marquée par des pentes sableuses, sablo-vaseuses. À marée basse, ces pentes intertidales forment des étendues nues, à peu près horizontales

avec de nombreux petits chenaux aveugles. Les pentes sableuses forment de petites plages estuariennes qui évoluent sous l'influence conjuguée des houles locales engendrées dans la baie et des courants de marée.

4. LES SOLS

Cette étude préliminaire sur les propriétés physiques et chimiques des sols de la Baie de Sherbro est essentiellement basée sur les déterminations du pH, de la salinité et de la composition chimique d'échantillons séchés.

4.1. Le pH

Les mesures de pH effectuées sur échantillons séchés dans le rapport sol/eau égal 1, indiquent que la plupart des échantillons sont très acides avec un pH souvent inférieur à 3 et parfois même inférieur à 2,5 (Tabl. I). Ce pH sec très acide est une caractéristique des sols potentiellement sulfaté-acides et il est typique des échantillons provenant des tidal flats, des îlots vaseux colonisés par *Rhizophora* et des tannes herbacés.

Les échantillons dont le pH sec reste supérieur à 3,5 sont ceux provenant des bancs vaseux et sablo-vaseux, des bancs récemment colonisés par les palétuviers, des pentes vaseuses et sablo-vaseuses intertidales, de l'horizon superficiel des tannes herbacés et enfin des bancs de Sherbro (Tabl. I). Ces formes d'accumulation sont généralement instables, pauvres en argiles et en matière organique (à l'exception des pentes vaseuses), et en fer et alumine libres.

4.2. La salinité

L'analyse chimique de la salinité effectuée sur un extrait aqueux au 1/10 montre que tous les échantillons sont salés et que certains ont une salinité supérieure à celle de l'eau de mer (Tabl. I). En effet la conductivité de ces échantillons exprimée en mm hos/cm est toujours supérieure à 0,7 mm hos/cm.

Les anions solubles sont essentiellement représentés par les sulfates et les chlorures avec généralement une nette prédominance des sulfates sur les chlorures tandis que les cations sont en grande partie dominés par le sodium et le magnésium. Les carbonates sont totalement absents et les bicarbonates sont à l'état de traces.

Par rapport au type de salinisation de sols de mangrove ailleurs en Afrique de l'ouest, ces sols montrent un caractère très original. D'après l'étude de MARIUS (1984), le rapport C1/SO₄ dans l'estuaire de la Casamance au Sénégal est en moyenne de 8,6 en juin et de 10,5 en novembre, donc voisin de celui de l'eau de mer (~ 10) et la salinisation est de type chlorurée-sodique. Or, dans la majorité des échantillons prélevés en Sierra Leone méridionale, le rapport C1/SO₄ est souvent inférieur à 1 et les sulfates l'emportent largement sur les chlorures. Il s'agit donc d'une salinisation de type sulfaté-sodico-magnésienne très différente de celle des sols de mangrove au Sénégal.

TABLEAU I
Ph et salinité

	•	•	•	•	••	••	••	•	•	••	••	••	••	••	••	••	••	••
Ech.	A ₁	A ₂	C ₁	C ₂	D ₁	E ₁	J ₂	K ₁	K ₂	L ₂	L ₃	M ₁	M ₂	N ₁	N ₂	P ₁	BR ₂₆	SB ₁₂
pH eau	2,6		2,8	2,4	5,3	4,1	3,4	2,1	2,1	5,6	2,0	4,3	5,0	5,2	5,2	4,1	3,5	7,5
C. E.	4,45	9,70	1,17	4,37	1,24	1,87	6,01	2,18	8,77	0,78	6,16	1,52	1,34	2,66	2,94	3,21	2,40	1,19
pH Ext à 20° C	3,1	2,7	3,2	2,8	5,1	4,2	2,4	3,5	2,6	5,9	2,4	4,6	5,1	5,7	5,4	4,5	4,0	6,2
Ca mé ⁺⁺ /l	6,8	7,60	1,40	1,70	1,05	3,50	0,40	4,30	1,80	0,15	0,20	2,20	1,10	1,80	2,70	4,80	1,00	0,30
Mg ⁺⁺	21,60	37,00	3,40	16,90	4,70	8,70	19,80	8,70	26,30	0,20	8,40	7,60	4,50	8,10	10,80	16,90	4,00	1,40
K ⁺	0	0	0	0	0,30	0	0	0	0	0,20	0	0	0,20	0	0,80	0	0,40	0,15
Na ⁺	15,80	52,00	4,80	17,80	5,05	7,10	14,60	10,80	53,30	6,85	10,60	5,70	6,60	15,40	16,50	15,10	16,60	8,25
Fe ³⁺ mg/l	0	1,28	0	0	0	0	18,41	0	6,54	0	46,6	0	0	0	0	0	0	0
Al ³⁺	8,71	16,12	0	9,53	0	0	25,66	0	15,06	0	25,9	0	0	0	0	0	0	0
E Cations	52,91	114,00	9,60	45,93	11,10	19,30	78,87	23,80	103,00	7,40	91,70	15,50	12,40	25,30	30,80	36,80	22,00	10,10
E Anions	55,60	112,50	10,00	47,95	10,25	18,85	81,10	25,15	104,50	7,70	91,60	14,80	12,20	24,80	30,55	35,50	21,80	10,50
Cl ⁻	15,00	46,50	3,40	14,75	4,10	6,25	12,50	8,25	49,70	5,10	10,0	4,95	5,55	15,75	13,60	12,80	17,25	9,20
SO ₄ ⁼	40,60	66,00	6,60	33,20	6,10	12,60	68,60	16,90	54,80	2,40	81,6	9,85	6,65	8,95	16,80	22,70	4,55	1,10
CO ₃ H ⁻	0	0	0	0	0,05	0	0	0	0	0,20	0	0	0	0,10	0,15	0	0	0,20
CO ₃ ⁻⁻	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl/SO ₄	0,37	0,70	0,51	0,44	0,67	0,50	0,18	0,49	0,9	2,12	0,12	0,50	0,8	1,76	0,8	0,56	3,8	8,4

• Tidal flats ; •• Banc sablo-vaseux ; ••• Ilot médian à *Rhizophora* ; •••• Tannes herbacés ; ••••• Pentes intertidales ; •••••• Tannes nus ; ••••••• Banc de Sherbro.

On peut constater aussi que la somme des anions et des cations augmente presque toujours en profondeur tandis que le rapport Cl/SO₄ diminue (Tabl. I). Ces deux tendances liées sont dues à deux aspects :

— le lessivage des sels solubles en surface préalablement à l'échantillonnage qui a été effectué au mois d'octobre en saison pluvieuse. Cette saison se caractérise aussi par une diminution dans l'apport des sels marins car les débits liquides fluviaux sont plus importants ;

— les chlorures, beaucoup plus solubles que les sulfates remontent avec la montée des nappes phréatiques enrichissant ainsi les horizons superficiels en chlorures tandis que la concentration relative des sulfates en profondeur augmente.

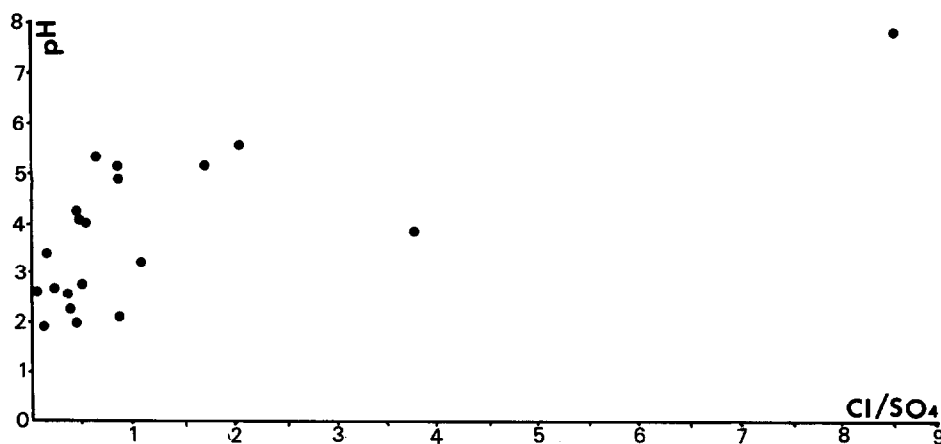
Par ailleurs, dans les échantillons séchés, l'oxydation de la pyrite conduit à la formation de jarosite et à un développement de l'acidité. En effet, il est connu depuis longtemps que c'est l'oxydation des composés réduits de soufre et principalement de la pyrite qui est à l'origine de l'acidification des sols, et de ce fait constitue le facteur prédominant de l'évolution des sols de mangroves. Les voies de cette oxydation ont été étudiées par Van BREEMEN (1976). Dans une première phase, l'oxydation de la pyrite s'accompagne de la formation du soufre élémentaire et d'hydroxyde ferrique. La décomposition de la pyrite s'accompagne d'abord de la libération du fer ferreux Fe²⁺ et de l'oxydation de la pyrite en

soufre élémentaire S°. L'oxydation microbiologique de S° donne du SO₄²⁻ et H⁺. En l'absence d'éléments neutralisants et dans les conditions acides, le produit le plus important de l'oxydation de la pyrite est un sulfate basique de fer du groupe de la jarosite.

Dans les échantillons séchés et analysés, les sulfates libérés par l'oxydation de la pyrite contribuent à un abaissement du rapport Cl/SO₄ tandis que le H⁺ contribue à augmenter l'acidité des échantillons. A ce propos, il est intéressant de noter la bonne corrélation entre le rapport Cl/SO₄ et le pH (Fig. 6).

Le pH le plus élevé est celui de l'échantillon SB12 prélevé en bordure de mer. Il se caractérise aussi par le rapport Cl/SO₄ le plus élevé (8,4) voisin de celui de l'eau de mer. Cela est dû au fait que les teneurs en sulfates dans ces sols sableux sont très faibles. Par conséquent, la formation des pyrites en premier lieu y est entravée, ce qui milite contre l'abaissement du rapport (Cl/SO₄ surtout que les eaux marines y ont beaucoup plus d'accès qu'à l'intérieur des estuaires.

Dans le cas des échantillons A et K, l'on constate que le rapport Cl/SO₄ augmente en profondeur. Il s'agit là d'une cristallisation des sels (Tabl. 2). L'analyse de la composition chimique totale montre des valeurs relativement élevées de Na₂O tandis que l'analyse aux rayons X montre la présence

Fig. 6. — Corrélation entre pH et Cl/SO₄

de halite (NaCl) pour l'échantillon K₂, qui a été prélevé sur des rares petits tannes d'origine anthropique existant dans cette baie.

4.3. La géochimie

La composition chimique des sols varie selon la forme d'accumulation et elle est influencée principalement par

l'abondance plus ou moins grande du quartz qui entraîne une variation inverse des teneurs de la majorité des autres constituants (Tabl. II). Le quartz est surtout abondant sur les pentes intertidales à caractère sableux ainsi que sur les bancs essentiellement sableux caractérisés par des sols minéraux bruts.

En plus de la fraction détritique, quartz et argiles, les sédiments estuariens comprennent également une phase organi-

TABLEAU II
Composition chimique des échantillons (en % de l'échantillon séché)

		Somme	Perte A 1000	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MGO	CAO	Fe ₂ O ₃	Mn ₃ O ₄	TiO ₂	BAO	SRO	Na ₂ O	K ₂ O
.	A1	99.53	23.56	65.3	5.6	.57	.4	2.9	.010H	.29	.01	.01H	.60	.26
.	A2	99.37	37.04	46.7	8.1	.87	.4	3.8	.018	.35	.01	.01H	1.78	.35
.	C1	100.76	2.48	96.7	.7	.08	.2H	.4	.010H	.09	.01H	.01H	.09	.06
.	C2	99.34	29.15	37.9	23.4	.59	.2H	5.9	.031	.95	.02	.01H	.60	.62
:	D1	99.57	5.67	84.0	5.9	.48	.2H	2.1	.011	.40	.02	.01H	.23	.56
:	E1	99.74	8.46	77.7	7.7	.63	.2	3.3	.019	.49	.04	.01H	.35	.87
..	J2	95.24	28.26	37.6	19.0	.73	.2	7.0	.040	.84	.03	.01H	.69	.75
.	K1	100.21	17.41	68.0	10.0	.43	.2	2.3	.015	.65	.03	.01H	.41	.76
.	K2	100.13	24.92	45.2	18.4	.91	.2	6.8	.038	.83	.03	.01H	1.78	.96
::	L2	98.12	14.16	60.8	16.0	.71	.2H	3.7	.016	.86	.04	.01H	.43	1.19
::	L3	100.40	20.16	60.1	9.4	.46	.2H	8.2	.018	.56	.03	.01H	.61	.72
:	M1	99.03	10.14	74.2	9.7	.64	.2H	2.9	.011	.49	.02	.01H	.28	.49
:	M2	98.57	8.41	78.9	7.2	.50	.2H	2.4	.010H	.34	.02	.01H	.27	.46
..	N1	99.39	21.54	44.8	22.3	1.32	.3	6.5	.036	.92	.04	.01H	.71	.92
..	N2	100.18	20.82	45.4	22.6	1.50	.4	6.9	.042	.90	.04	.01	.71	.91
:	P1	99.47	21.86	43.8	22.7	1.56	.4	6.4	.028	.91	.03	.01H	.86	.92

— E valeur obtenue par extrapolation

— H valeur inférieure à la limite inférieure de détection

— S valeur supérieure à la limite de mesure

• Tidal flats ; .. Banc sablo-vaseux ; ... Ilot median à *Rhizophora* ; Tannes herbacés ; Pentes intertidales.

que importante due à la décomposition des restes de palétuviers et une phase chimique caractérisée par sa pauvreté en alcalino-terreux (Ca. Ba. Sr), et même en fer.

5. RELATIONS ENTRE TYPES DE SOLS ET MILIEUX DE SÉDIMENTATION

La salinité élevée de tous les échantillons de sols de la Baie de Sherbro s'explique, en partie, par le grand prisme tidal. Le rapport débit tidal/débit fluvial élevé favorise un mélange efficace des eaux marines et fluviales même en saison des pluies. Les mesures en cours indiquent une salinité élevée partout dans le chenal principal de la baie et sur les tidal flats qui le bordent. Les différences de salinité entre les échantillons étudiés relèvent surtout de la capacité des divers milieux de sédimentation à fixer les sels apportés par les eaux marines. Les échantillons les plus salés sont ceux provenant des tidal flats et des îlots de la zone de sédimentation interne couverts de *Rhizophora*. La végétation dans les estuaires joue un rôle important dans la pédogénèse car elle est la source principale d'accumulation de la matière organique, site de la sulfato-réduction bactérienne et donc d'accumulation des sulfures. Cette relation a été d'ailleurs signalée pour la première fois par TOMLINSON (1957) à partir des mangroves de la Sierra Leone. L'abondance de matière organique (fournie essentiellement par les racines de *Rhizophora*) et de vases ainsi qu'une stabilité géomorphologique marquée favorisent la fixation des sels, notamment les sulfures dont l'oxydation est accompagnée d'une augmentation de l'acidité. Les différences de caractères sédimentologiques (quantité de vases), végétaux (présence ou absence de *Rhizophora*) et géomorphologiques (fixation des vase et degré de stabilité) des dépôts de la baie de Sherbro sont responsables des différences d'acidité des divers échantillons. Cette différence d'acidité constitue donc l'élément principal dans la classification des sols de la baie. Globalement et grossièrement, l'on distingue un groupe de sols où l'acidité constitue l'élément pédogénétique le plus important et un autre groupe où l'acidité n'intervient pas.

Les premiers sont des « sols potentiellement sulfatés-acides » et ils sont le mieux développés dans les tidal flats et îlots médians où l'érosion est peu marquée. Ces dépôts stables sont entièrement colonisés par *Rhizophora* dont les racines fixent les vases et les sels.

Bien qu'elles soient riches en argiles et en matière organique, les pentes vaseuses et sablo-vaseuses ont un pH sec non-acide et manquent totalement de fer et d'alumine libres. Ces dépôts montrent donc des « sols minéraux bruts non clima-

tiques d'apport fluvio-marin ». Ceux-ci peuvent évoluer éventuellement en « sols potentiellement sulfatés-acides » au fur et à mesure qu'ils sont colonisés par les palétuviers qui les stabilisent en fixant les vases.

Les bancs de Sherbro et les autres dépôts essentiellement sableux évoluent dans un milieu géomorphologique trop énergétique pour permettre la sédimentation définitive des argiles et silts et l'établissement des palétuviers. Ceci entrave le développement des sols qui restent donc des « sols minéraux bruts non-climatiques d'apport marin ou fluvio-marin » (en zone interne).

Les tannes supratidaux se caractérisent par une texture sableuse et n'ont qu'une proportion infime d'argiles et de matière organique. La fixation des sulfures ne peut s'effectuer dans ces conditions et les sols de ces tannes peuvent être qualifiés de « sols salins » bien que la salinité de l'échantillon étudié ne soit pas élevée (Tabl. I) sans doute à cause du lessivage des sels par les pluies.

Les analyses effectuées sur les deux échantillons provenant des tannes herbacés indique que ces sols ont un horizon superficiel non-acide reposant sur un horizon tourbeux et acide (Tabl. I). Ces tannes reposent, en effet, sur d'anciens sols de mangrove comme l'indiquent les grands troncs et racines d'arbres appartenant à *Rhizophora racemosa* qui y ont été excavés (JORDAN, 1964). Ces anciens sols de mangrove sont actuellement dessalés en surface. Ils sont inondés pratiquement toute l'année.

La disparition des palétuviers a été sans doute provoquée par une régression marine pendant laquelle les zones périphériques des tidal flats en bordure des bas plateaux du Bullom Group ont subi une exondation avec, pour conséquence, l'oxydation des sols, le développement de conditions très acides et la formation de jarosite néfaste aux palétuviers.

L'horizon de surface noir de ces sols est riche en matière organique et repose, d'après DIJKERMAN (1969), sur un niveau grisâtre silteux ou argileux avec des taches rouges provenant vraisemblablement de l'hydrolyse de jarosite. Le caractère sulfaté-acide des horizons profonds de ces sols a été signalé par JORDAN (1964). Ces tannes sont donc des « sols peu évolués potentiellement sulfatés-acides en profondeur ».

REMERCIEMENTS

L'un des auteurs, E. ANTHONY — tient à exprimer ses vifs remerciements d'une part, au CEGET, pour avoir financé l'une de ses missions en Sierra Leone (1984) ; — d'autre part, à Mme Claire BELLER, de l'atelier de cartographie du C.G.A. de Strasbourg pour lui avoir permis d'accéder à tous les moyens cartographiques et reprographiques de cet atelier.

REFERENCES

- ALLEN (G.P.), SALOMON (J.C.), BASSOULET (P.), DU PENHOAT (Y.), et DE GRANDPRE (C.), 1980. — Effects of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries. *Sed. Geol.*, 26, 69-80.
- ANTHONY (E.J.), 1983. — Holocene geomorphic evolution of the coast of southern Sierra Leone. *Bull. Ass. Sénégal. Et. Quat. Afr.*, 68/69, 35-45.
- CARDER (K.L.), BETZER (P.R.), EGGIMAN (D.W.), 1974. — Physical, chemical and optical measures of suspended particle concentrations : their intercomparison and application to the West African shelf : in GIBBS, R.J. (ed), *Suspended Solids in Water*, Plenum Press, New-York : 173-193.
- COLE (N.H.A.), 1968. — The Vegetation of Sierra Leone, Njala, Univ. Coll. Press, Sierra Leone, 198 p.
- COLEMAN (J.M.) et WRIGHT (L.D.), 1978. — Sedimentation in an arid macrotidal alluvial river system : Ord River, Western Australia. *J. Geol.*, 86 : 621-642.
- DIJKERMAN (J.C.), 1969. — Soil Resources of Sierra Leone, West Africa. *Soils Afr.* 14, 3 : 185-206.
- DYER (K.R.), 1973. — Estuaries : A physical introduction. Wiley, Londres, 140 pp.
- JORDAN (H.D.), 1964. — The relation of vegetation and soil to development of mangrove swamps for rice growing in Sierra Leone. *J. Appl. Ecol.*, 1 : 209-212.
- KALCK (Y.), 1978. — Evoluton des zones à mangrove du Sénégal au Quaternaire récent. Etudes géologiques et géochimiques. Thèse 3^e cycle, Univ. de Strasbourg, 121 p.
- LEDGER (D.G.), 1964. — Some hydrological characteristics of West African rivers. *Trans. Pap. Inst. Brit. Geogr.*, 41, 73-90.
- MARIUS (C.), 1984. — Contribution à l'étude des mangroves du Sénégal et de la Gambie. Ecologie, Pédologie, Géochimie, Mise en valeur et Aménagement. Thèse d'Etat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 309 pp.
- MARIUS (C.), LUCAS (J.), 1982. — Evolution géochimique et exemple d'aménagement des mangroves au Sénégal (Casamance) *Oceanol. Acta, Actes Sym. Int. Lagunes Côtières, Bordeaux* : 151-160.
- MCGRAIL (D.W.), 1979. — Topographically controlled mesoscale flow anomalies on the continental Shelf of Southern Sierra Leone and Liberia. *J. Phys. Oceanogr.*, 9 : 327-336.
- MCGRAIL (D.W.), 1982. — Mechanisms of sedimentation on the continental shelf off Southern Sierra Leone and Liberia. Dept. Ocean Texas A + M. Univ., 48 p.
- MCMMASTER (R.L.), MILLIMAN (J.D.), ASHRAF (A.), 1971. — Continental Shelf and Upper Slope Sediments off Portuguese Guinea, Guinea and Sierra Leone, West Africa, *J. Sed. Petr.*, 41 : 150-158.
- MCMMASTER (R.L.), BETZER (P.R.), CARDER (K.L.), MILLAR (L.), EGGIMANN (D.W.), 1977. — Suspended particle mineralogy and transport in water masses of the West African shelf adjacent to Sierra Leone and Liberia. *Deep-Sea Res.* 24 : 651-666.
- MEADE (R.H.), 1969. — Landward transport of bottom sediments in estuaries of the Atlantic coastal plain. *J. Sed. Petr.*, 39 : 222-234.
- ODELL (R.T.), DIJKERMAN (J.C.), VAN VUURE (W.), MELSTED (S.W.), BEAVERS (A.H.), SUTTON (P.M.), KURTZ (L.T.), MIEDEMA (R.), 1974. — Characteristics Classification and Adaptation of Soils in Selected areas in Sierra Leone. Univ. Illinois, 194 p.
- OERTEL (G.F.), 1972. — Sediment transport of estuary entrance shoals and the formation of swash platforms. *J. Sed. Petr.*, 42, 857-863.
- OFF (T.), 1963. — Rythmic linear sand bodies caused by tidal currents. *Am. Ass. Petr. Geol., Bull.*, 47 : 324-341.
- OFFICER (C.B.), 1976. — Physical Oceanography of Estuaries (and associated coastal waters). John Wiley, New York, 465 pp.
- POSTMA (H.), 1967. — Sediment transport and sedimentation in estuaries. In : (Ed.) G.H. Lauff, *Estuaries* : 158-179.
- PRITCHARD (D.W.), 1955. — Estuarine circulation patterns. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.*, 81 : 1-11.
- SWIFT (D.J.P.), 1976. — Coastal Sedimentation : in STANLEY (D.J.) et SWIFT (D.J.P.) (eds), *Marine sediment transport and Environmental Management*. John Wiley, New York : 225-310.
- THOMAS (M.F.) et THORP (M.B.), 1980. — Some aspects of the geomorphological interpretation of Quaternary alluvial sediments in Sierra Leone. *Zeit. Geom.*, 36 : 140-161.
- TOMLINSON (T.E.), 1957. — Relationships between mangrove vegetation, soil texture and reaction of surface soil after empoledering saline swamps in Sierra Leone. *Trop. Agric.*, 34 : 41-50.
- VAN BREEMEN (N.), 1976. — Genesis and soil chemistry of acid sulphate soils in Thailand. Pudoc. Wageningen, 263 p.
- WRIGHT (L.D.), 1977. — Sediment transport and deposition at river mouths : A synthesis. *Geol. Soc. Am., Bull.*, 88 : 857-868.
- WRIGHT (L.D.), COLEMAN (J.M.) et THOM (B.G.), 1973. — Processes of channel development in a high-tide-rande environment : Cambridge Gulf Ord river delta. *J. Geol.*, 81 : 15-41.